



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Desarrollo de la metodología para el cálculo de la
huella de carbono en 3PLs y aplicación de ésta en la
empresa Carreras, Grupo Logístico.

Autor

Javier Ernesto Valencia Méndez.

Director

Dr. Jesús Antonio Royo Sánchez.

Escuela de Ingeniería y Arquitectura.
2012

Desarrollo de la metodología para el cálculo de la huella de carbono en 3PLs y aplicación de ésta en la empresa Carreras, Grupo Logístico.

Resumen

En el contexto de la lucha contra el cambio climático se ha desarrollado el concepto de la “Huella de Carbono” como un instrumento que permite contabilizar las emisiones de CO₂ al ambiente para de esta manera facilitar los esfuerzos de mitigación de las mismas. A pesar del avance que significa el desarrollo de este concepto y debido a lo joven del mismo aún falta mucho por trabajar en él, particularmente en lo relativo a temas de su cuantificación y estandarización. Es debido a ello que se desarrolló el presente proyecto el cual brinda una metodología para el cálculo de la Huella de Carbono en entornos logísticos, particularmente 3PLs, haciéndose particular énfasis en el transporte de mercancías, el cual es uno de los principales contaminantes a nivel global y el más importante en los países industrializados.

A su vez, se presenta una herramienta informática, la primera enfocada exclusivamente al sector logístico, “Carbon Footprint for Logistics” la cual busca facilitar la cuantificación de las emisiones de GEI. Cabe mencionar que como parte de este proyecto dicha aplicación se validó contrastando los valores generados por ésta con los alcanzados mediante las principales soluciones existentes en el mercado, alcanzándose resultados muy alentadores.

Así mismo en el presente trabajo se aplicaron tanto la metodología como el instrumento desarrollados para cuantificar las emisiones de CO₂ a la atmósfera en parte de la operativa de la empresa: “Carreras, Grupo Logístico”. Cabe mencionar que el cálculo realizado se llevó a cabo tanto con la herramienta desarrollada como con los “softwares” comerciales mejor considerados, tanto para brindar una respuesta más fiable a dicha organización como también para poder obtener mayor retroalimentación al contar con otro ejercicio de comparación.

Se concluyó el proyecto al proponérsele a la empresa determinados lineamientos para reducir sus emisiones de gases de efecto ya que como se podrá ver más adelante el sistema que sigue la organización hoy en día no resulta óptimo. Cabe mencionar que como resultado de las alternativas planteadas Carreras, Grupo Logístico podría obtener significativos ahorros a su vez que reduce su impacto ambiental. Actualmente la decisión de si variar sus procesos actuales a los propuestos está siendo discutida por el personal pertinente de la empresa.

Tabla de contenido.

Tabla de contenido.	3
Tablas y gráficos	5
Tablas	5
Gráficos	7
1.- Memoria.....	11
1.1.- Justificación.	11
1.1.1.- La contaminación generada por los medios de transporte.	13
1.2.- Breve estado del arte.	14
1.3.- Objetivos.....	15
1.4.- Alcance.	16
1.5.- Metodología a seguir.....	16
1.6.- Resultados.....	17
1.6.1.- La metodología desarrollada.	17
1.6.2.- La herramienta informática desarrollada.	20
1.6.3.- Caso teórico para la validación del “software”.	22
1.7.- Caso real: Carreras, Grupo logístico.	25
1.8.- Propuesta de reducción de GEI para la empresa.....	28
1.8.1.- Propuesta para la reducción de la huella de carbono.	28
1.8.2.- Propuestas de mejora económica.	30
1.9.- Conclusiones y líneas de investigación futuras.....	31
1.10.- Fuentes consultadas.....	32
2.- Anexo 1. Marco teórico.	¡Error! Marcador no definido.
2.1.- Cadena de Suministro (CdS).....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.- Logística.	¡Error! Marcador no definido.
2.3.- Terceras Partes Logísticas.	¡Error! Marcador no definido.

2.4.- La tendencia a los 3PLs.	¡Error! Marcador no definido.
2.5.- Factores contaminantes en la logística.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.- Marco referencial actual.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.1.- GHG protocol.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.2.- PAS 2050.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.3.- Normas ISO 14000.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.4.- Herramientas de Cálculo de la Huella de Carbono.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.5.- Transtools.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.6.- Copert Methodology.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.7.- Simapro.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.8.- Umberto for Carbon Footprint.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.9.- Base de datos Ecoinvent.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.10.- European Platform on Life Cycle Assessment.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.11.- Ecoit.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.12.- Air.e.	¡Error! Marcador no definido.
2.6.13.- Mobile Combustion GHG Emissions Calculation Tool.	¡Error! Marcador no definido.
3.- Anexo 2. Factores de cálculo.	¡Error! Marcador no definido.
4.- Anexo 3. Carbon Footprint for Logistics.	¡Error! Marcador no definido.
5.- Anexo 4. Caso teórico.	¡Error! Marcador no definido.
6.- Anexo 5. La empresa: Carreras, grupo logístico.	¡Error! Marcador no definido.
7.- Anexo 6. Datos proporcionados por la empresa.	¡Error! Marcador no definido.
8.- Anexo 7. Cálculos con otros “softwares”.	¡Error! Marcador no definido.
8.1.- Caso teórico.	¡Error! Marcador no definido.
8.1.1.- Simapro.	¡Error! Marcador no definido.

8.1.1.- Umberto.	¡Error! Marcador no definido.
8.1.2.- Ecoit.	¡Error! Marcador no definido.
8.1.3.- Air.e.	¡Error! Marcador no definido.
8.1.4.- Excel GHG.	¡Error! Marcador no definido.
8.1.5.- Carbon Footprint for Logistics.	¡Error! Marcador no definido.
8.2.- Caso real.	¡Error! Marcador no definido.
8.2.1.- Aire.	¡Error! Marcador no definido.
8.2.2.- Ecoit.	¡Error! Marcador no definido.
8.2.3.- Carbon Footprint for Logistics.	¡Error! Marcador no definido.
9.- Anexo 8. Optimización.	¡Error! Marcador no definido.
10.- Anexo 9. Fuentes consultadas.	¡Error! Marcador no definido.

Tablas y gráficos

Tablas

Tabla 1. La huella de carbono como ventaja competitiva en el futuro. AENOR.	11
Tabla 2. La metodología a emplear.	16
Tablas 3 y 4. Emisiones de CO2 mensuales calculadas para el caso teórico.	24
Tabla 5. Evaluación subjetiva de las herramientas existentes.	24
Tabla 6. Caso real. Emisiones por clase en entregas sin ruta.	27
Tabla 7. Caso real. Emisiones por clase en entregas sin ruta.	27
Tabla 8. Caso óptimo, valores calculados con Carbon Footprint for Logistics.	29
Tabla 9. Las rutas óptimas.	29
Tabla 10. Emisiones propuestas, valores calculados con Carbon Footprint for Logistics.	30

Tablas 11 y 12. Ahorros propuestos.

Tabla 13. Factores, operaciones de transporte. Aéreo.	49
Tabla 14. Factores, operaciones de transporte. Tabla 23. Datos caso teórico. Enero.	49
Tabla 15. Factores, operaciones de transporte. Ferrocarril.	49
Tabla 16. Factores, operaciones de transporte. Ferrocarril.	50
Tabla 17. Factores, operaciones de carga. Montacargas.	51
Tabla 18. Factores, por tipo de combustible.	52
Tabla 19. Factores, cámaras frigoríficas.	52
Tabla 20. Factores, energía eléctrica consumida.	53
Tabla 21. Emisiones por tipo de combustible.	54
Tabla 22. Distancias para caso teórico.	60
Tabla 23. Datos caso teórico. Enero.	61
Tabla 24. Datos caso teórico. Febrero.	62
Tabla 25. Datos caso teórico. Marzo.	63
Tabla 26. Datos caso teórico. Abril.	64
Tabla 27. Datos caso teórico. Mayo.	65
Tabla 28. Datos caso teórico. Junio.	66
Tabla 29. Datos caso teórico. Julio.	67
Tabla 30. Datos caso teórico. Agosto.	68
Tabla 31. Datos caso teórico. Septiembre.	69
Tabla 32. Datos caso teórico. Octubre.	70
Tabla 33. Datos caso teórico. Noviembre.	71
Tabla 34. Datos caso teórico. Diciembre.	72

Tabla 35. Datos proporcionados por la empresa. Entregas sin ruta.	
Tabla 36. Datos proporcionados por la empresa. Entregas con ruta.	84
Tablas 37 y 38. Datos proporcionados por la empresa. Resumen.	87
Tabla 39. Caso real. Totales originales I.	107
Tabla 40. Caso real. Estudio de rutas 1.	108
Tabla 41. Caso real. Estudio de rutas 2.	108
Tabla 42. Caso real. Estudio de rutas 3.	109
Tabla 43. Caso real. Estudio de rutas 4.	109
Tabla 44. Caso real. Estudio de rutas 5.	110
Tabla 45. Caso real. Distancias calculadas.	110
Tabla 46. Caso real. Totales originales II.	111
Tabla 47. Caso real. Estudio de rutas 6.	112

Gráficos

Gráfico 1. Explorando el pasado y el futuro de la huella ecológica en el mundo. Exploring past and future changes in the ecological footprint for world regions. Detlef P. van Vuuren, Lex F. Bouwman. Ecological Economics 52 (2005) 43– 62.	12
Gráfico 2. Emisiones de CO2 por sector en EE.UU. (1990-2008). Fuente EIA, 2008.	13
Gráfico 3. Metodología y herramientas de cálculo. AENOR.	15
Gráfico 4. La administración de la Cadena de Suministro.	17
Gráfico 5. Alcances según el GHG Protocol.	18
Gráfico 6. La metodología desarrollada.	19
Gráfico 7. Pantalla principal. Carbon Footprint for Logistics.	21
	23

Gráfico 8. Modelo teórico.	
Gráfico 9. Resultados del caso teórico.	22
Gráfico 10. Imagen de la reunión sostenida con personal de la empresa, junio 2012.	26
Gráfico 11. Caso real. Emisiones por clase en entregas sin ruta.	26
Gráfico 12. Caso real. Emisiones por clase en entregas sin ruta.	27
Gráfico 13. Análisis económico de las alternativas propuestas.	31
Gráfico 14. Rationale for utilizing 3PL in SCM: A shippers' economic perspective. Koichiro Tezuka. University of Fukui, Japan. IATSS Research	36
Gráfico 15. Los 3 alcances del GHG Protocol.	39
Gráfico 16. Carbon Footprint for Logistics. Pantalla principal.	55
Gráfico 17. Carbon Footprint for Logistics. Carga aérea.	56
Gráfico 18. Carbon Footprint for Logistics. Carga en barco.	56
Gráfico 19. Carbon Footprint for Logistics. Carga ferroviaria.	57
Gráfico 20. Carbon Footprint for Logistics. Carga en camión.	58
Gráfico 21. Carbon Footprint for Logistics. Combustible empleado.	58
Gráfico 22. Carbon Footprint for Logistics. Pantalla de resultados.	59
Gráfico 23. Planteamiento caso teórico.	60
Gráfico 24. Resultados del caso teórico, en TnCO ₂ e.	73
Gráfico 25. La operación del Grupo Carreras.	74
Gráfico 26. Beneficios anuales del Grupo Logístico Carreras.	75
Gráfico 27. Imagen de la flota de Carreras, Grupo Logístico.	77
Gráfico 28. Herramientas empleadas en el cálculo. Simapro. Datos 1.	88
Gráfico 29. Herramientas empleadas en el cálculo. Simapro. Datos 2.	89
Gráfico 30. Herramientas empleadas en el cálculo. Simapro. Resultados.	89

Gráfico 31. Herramientas empleadas en el cálculo. Umberto. Metodología a emplear.	90
Gráfico 32. Herramientas empleadas en el cálculo. Umberto. Variable empleada.	91
Gráfico 33. Herramientas empleadas en el cálculo. Umberto. Variables.	91
Gráfico 34. Herramientas empleadas en el cálculo. Umberto. El proceso.	92
Gráfico 35. Herramientas empleadas en el cálculo. Umberto. El resultado.	92
Gráfico 36. Herramientas empleadas en el cálculo. Ecoit. El archivo.	93
Gráfico 37. Herramientas empleadas en el cálculo. Ecoit. El programa.	93
Gráfico 38. Herramientas empleadas en el cálculo. Ecoit. Selección de características.	94
Gráfico 39. Herramientas empleadas en el cálculo. Ecoit. El programa.	94
Gráfico 40. Herramientas empleadas en el cálculo. Air.e. El archivo.	95
Gráfico 41. Herramientas empleadas en el cálculo. Air.e. Las especificaciones requeridas.	96
Gráfico 42. Herramientas empleadas en el cálculo. Air.e. Los valores.	97
Gráfico 43. Herramientas empleadas en el cálculo. Air.e. El proceso.	98
Gráfico 44. Herramientas empleadas en el cálculo. Air.e. Las especificaciones requeridas.	99
Gráfico 45. Herramientas empleadas en el cálculo. Air.e. Resultados.	100
Gráfico 46. Herramientas empleadas en el cálculo. Excel GHG. Valores de entrada.	101
Gráfico 47. Herramientas empleadas en el cálculo. Excel GHG. Resultados.	101
Gráfico 48. Herramientas empleadas en el cálculo. Carbon Footprint for Logistics. Valores.	102

Gráfico 49. Herramientas empleadas en el cálculo. Carbon Footprint for Logistics. Resultado.	102
Gráfico 50. Herramientas empleadas en el caso real. Air.e. Resultado 1.	103
Gráfico 51. Herramientas empleadas en el caso real. Air.e. Resultado 2.	104
Gráfico 52. Herramientas empleadas en el caso real. Ecoit. Resultado 1.	104
Gráfico 53. Herramientas empleadas en el caso real. Ecoit. Resultado 2.	105
Gráfico 54. Herramientas empleadas en el caso real. Carbon Footprint for Logistics. Valores de entrada 1.	105
Gráfico 55. Herramientas empleadas en el caso real. Carbon Footprint for Logistics. Valores de entrada 2.	106
Gráfico 56. Herramientas empleadas en el caso real. Carbon Footprint for Logistics. Resultados.	106

1.- Memoria

1.1.- Justificación.

El medio ambiente y los temas relacionados como el calentamiento global del planeta se han posicionado, de súbito, en el pensamiento y acción de un buen sector de la sociedad mundial. En diferentes idiomas y a través de diversos medios, las organizaciones civiles lanzan campañas a fin de que la humanidad tome conciencia de la importancia que debe tener la protección del medio ambiente [1,2] y han tenido una penetración tal, que los mismos gobiernos participan activamente en acciones de cuidado y conservación del medio ambiente [3-6].

De acuerdo con lo anterior y como un medio para facilitar la lucha contra el cambio climático se definió la huella de carbono como un elemento para estandarizar a un nivel empresarial y gubernamental las reducciones en las emisiones de GEI. [7]

La importancia de contar con el cálculo de la huella de carbono a un nivel empresarial va más allá de la mera preocupación ambiental y de la responsabilidad social, ya que a su vez dota de los siguientes beneficios:

Contribuye a la reducción de emisiones de CO ₂ en productos y organizaciones en el marco legal relativo a la mitigación del cambio climático.
Contribuye a la creación de un mercado de productos y servicios de bajo carbono que da respuesta a la demanda social actual.
Contribuye a identificar oportunidades de ahorro de costes en las organizaciones.
Contribuye a la demostración ante terceros de los compromisos de la organización con la responsabilidad social a través de sus requisitos en mitigación del cambio climático

Tabla 1. La huella de carbono como ventaja competitiva en el futuro. AENOR.

Cabe mencionar que las Cadenas de Suministro (CdS) brindan diversas oportunidades para la reducción de las emisiones de efecto invernadero, tales como el control de los activos de carbono, la correcta gestión de la infraestructura con la que se cuenta, el uso de vehículos eficientes energéticamente, la reducción de los residuos a través de la optimización de procesos, el reciclaje, entre otros [8]. La importancia de apostar por procesos más eficientes y más amigables con el medio ambiente en la gestión de la Cadena de Suministro queda de manifiesto al analizar el estudio de diversos autores tales como el de Van Vuuren y Bowman en 2005 [9] quienes estimaron la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera en los próximos años bajo 5 escenarios posibles, desde el más optimista (B1) al más pesimista (B2), y cuyos resultados se resumen en la siguiente gráfica:

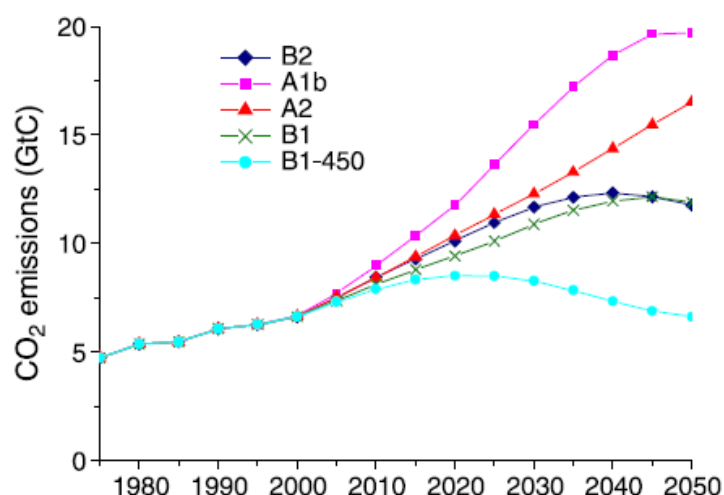


Gráfico 1. Explorando el pasado y el futuro de la huella ecológica en el mundo.

Es en este contexto que las empresas tiendan a reducir sus emisiones de carbono mediante la adopción de equipos, instalaciones y vehículos más eficientes en lo que al consumo de energía se refiere. Por otro lado, las organizaciones en la búsqueda de reducir sus GEI también pueden optimizar sus procesos productivos, de transporte y de almacenaje, enfoque que puede reducir más las emisiones de carbono con un coste menor o incluso nulo que el adoptar tecnologías de bajo consumo energético [10], sin embargo, la industria y la academia parecen haber ignorado en gran medida este enfoque de la protección del medio ambiente ya que según una encuesta realizada solo el 10% de las empresas modelan activamente sus huellas de carbono y han implementado iniciativas exitosas de sostenibilidad.

1.1.1.- La contaminación generada por los medios de transporte.

De acuerdo a diversas fuentes consultadas tales como la Administración de Información Energética (EIA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos los medios de transporte corresponden a una de las principales fuentes de liberación de CO₂ a la atmósfera, siendo en algunos casos, principalmente en los países más desarrollados, la principal fuente de estas emisiones [11]. La siguiente gráfica ilustra los principales generadores de CO₂ en los EE.UU. en los últimos años.

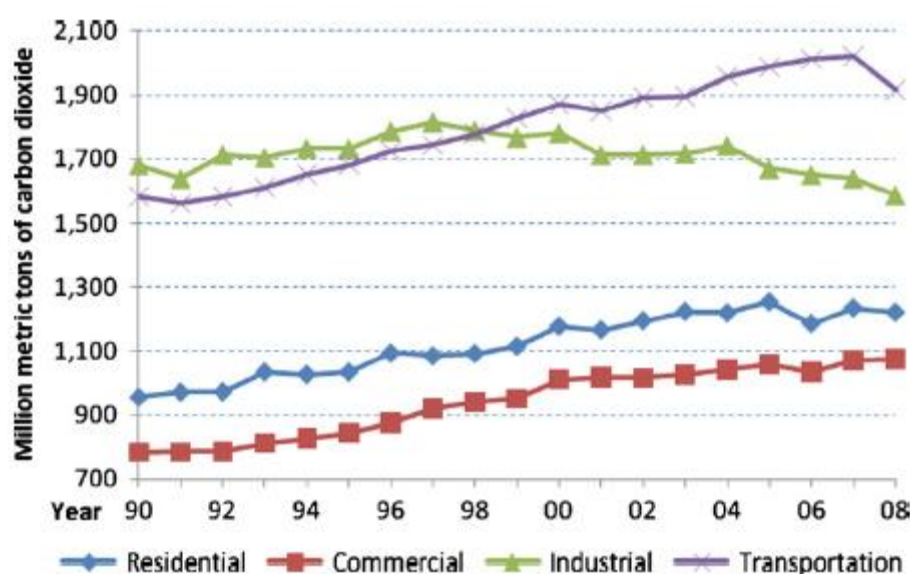


Gráfico 2. Emisiones de CO₂ por sector en EE.UU. (1990-2008).

Este problema no es exclusivo las grandes potencias económicas sino que también afecta a las llamadas economías emergentes, principalmente en las metrópolis de estas naciones como son la Cd. de México, Bogotá y Sao Paulo, lo que se ha constatado en los estudios realizados por diversas instituciones [12, 13].

Es por esto que resulta de tanta trascendencia el reducir de manera sustanciosa las emisiones de GEI a la atmósfera provenientes del transporte, contexto en el cual se enmarca el presente proyecto al proponer una metodología, la primera en su tipo, que no únicamente brinda los elementos para cuantificar la cantidad de CO₂ equivalente liberado en las operaciones de transporte sino que también incluye las de almacenaje, el cual constituye el otro gran macroproceso de las actividades logísticas.

1.2.- Breve estado del arte.

Para reducir el impacto al medio ambiente que tiene el sector del transporte se han puesto en marcha diversas acciones que buscan hacer más eficientes la operación de los vehículos, principalmente los de carga, como se puede constatar en diversos estudios tales como los de [14-16] los cuales sin embargo, únicamente se han enfocado en el análisis de la consolidación de la carga como una forma de reducir el daño ambiental, a su vez que se disminuyen los costes de operación [17].

A pesar de estos esfuerzos, los volúmenes de transporte cada vez mayores han dado como resultado la liberación de grandes cantidades de gases de efecto invernadero, así como de otros tipos de emisiones, tales como partículas finas, afectando el cambio climático y la salud humana. Es por esto que numerosos investigadores actualmente buscan reducir el efecto ambiental del transporte de mercancías, principalmente con respecto a las emisiones de CO₂, mediante diversas estrategias de mitigación de este tipo de emisiones [18].

Más allá de estas intenciones aún se requiere de una metodología estándar, basada en evidencia experimental, que permita alcanzar mayor precisión en los cálculos de emisiones de GEI [19].

En el siguiente gráfico se presentan las principales guías de referencia para contabilizar la huella de carbono de las organizaciones, de acuerdo con AENOR en [60], las cuales habrán de fungir como base para la metodología a desarrollar y de las que se resumen las más importantes y las que por sus características resultan más pertinentes para el presente proyecto en el Anexo 2. Marco teórico. Así mismo se comentarán brevemente las herramientas informáticas con las que se cuenta actualmente para la cuantificación de la huella de carbono, las cuales si bien no son particularmente propias para la gestión logística si brindan valores de referencia.

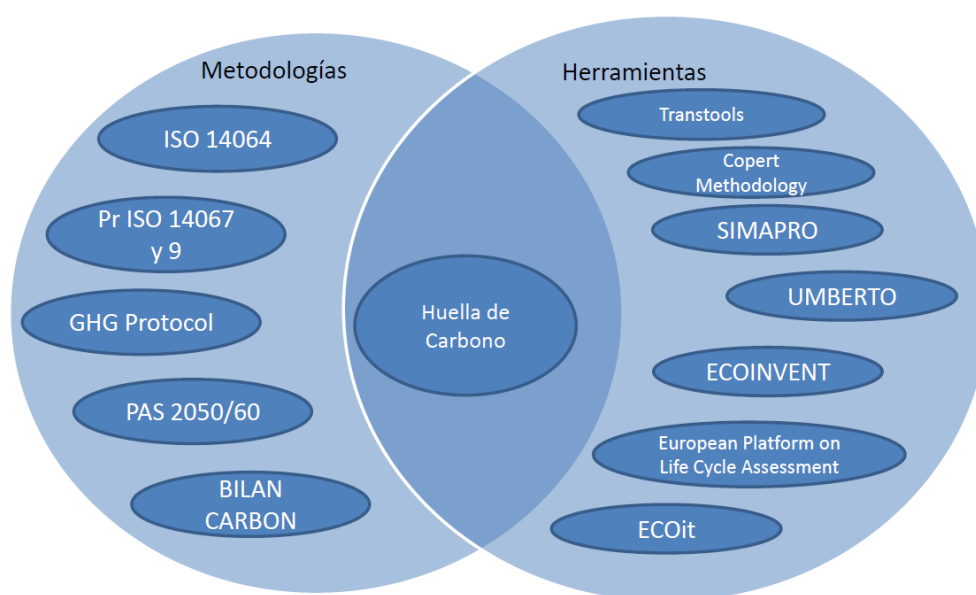


Gráfico 3. Metodología y herramientas de cálculo. AENOR.

1.3.- Objetivos.

Para el presente proyecto se definieron los siguientes objetivos.

1. Definir la metodología a seguir para calcular la huella de carbono en entornos logísticos, particularmente aplicable a 3PLs.
2. Brindar una herramienta informática para el cálculo de las emisiones de CO2 especializada en el sector transporte.
3. Contrastar la herramienta creada con las ya existentes.
4. Aplicar tanto la metodología desarrollada como el programa informático en un caso real.
5. Brindar lineamientos de mejora para la empresa estudiada.
6. Brindar futuras líneas de investigación.

1.4.- Alcance.

Se definió como el alcance de este proyecto el proponer una metodología, basada en la literatura actual, propia para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero, como emisiones de CO₂ equivalente, en entornos logísticos. Así mismo, se habrá de crear un “software” que facilite dicho cálculo para la operativa del transporte de carga, el cual se deberá contrastar con las herramientas existentes.

Tanto la metodología como la herramienta creada, así como las soluciones comerciales mejor valoradas, se utilizarán para realizar el cálculo de la huella de carbono en una parte de la operativa de la empresa Carreras, Grupo Logístico, para posteriormente brindar lineamientos de mejora a ésta, con el fin de disminuir sus emisiones de CO₂. Estos lineamientos se habrán de acompañar con un análisis de viabilidad económica.

1.5.- Metodología a seguir.

Para el desarrollo del presente proyecto se definió la siguiente metodología:

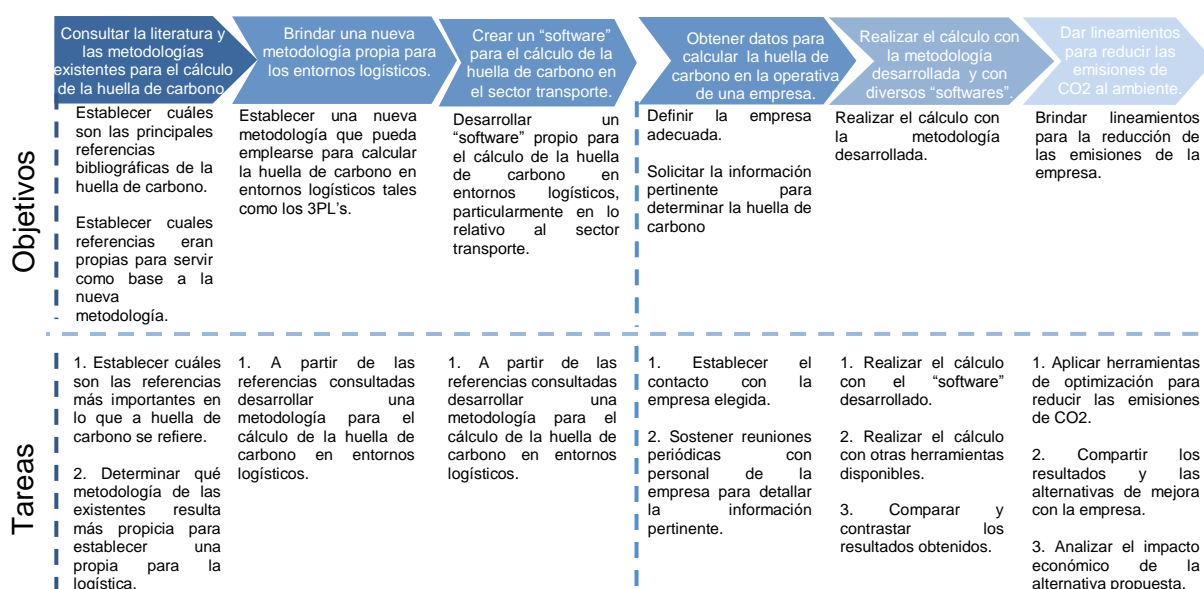


Tabla 2. La metodología a emplear.

1.6.- Resultados.

1.6.1.- La metodología desarrollada.

De acuerdo con la literatura las operaciones logísticas más importantes dentro de la Cadena de Suministro son la transportación, tanto interna como externa, y en el almacenaje de las materias primas y los productos. Esto da paso a que sean estos procesos los que habrán de ser estudiados para determinar el origen de las emisiones de CO₂ a la atmósfera propias de la actividad logística. Cabe destacar que este acercamiento resulta particularmente propicio para calcular la huella de carbono de 3PLs.

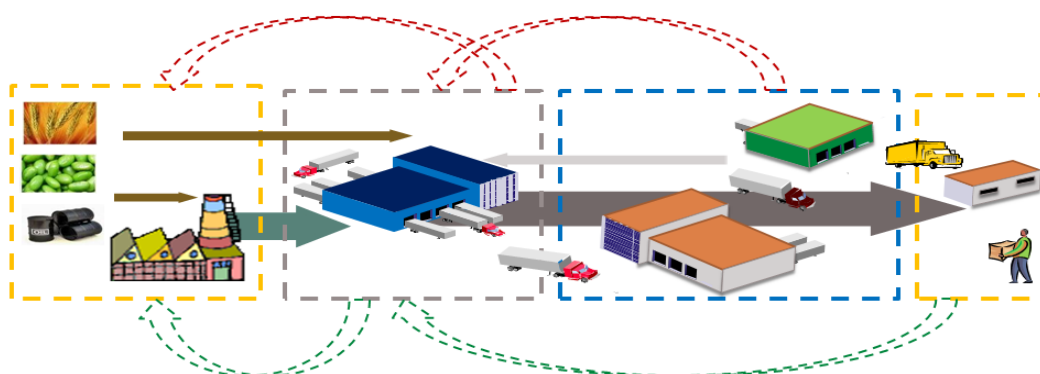


Gráfico 4. La Administración de la Cadena de Suministro.

Tanto el transporte como el almacenaje pueden analizarse desde el enfoque de alcances propuestos por el GHG Protocol [20]. Como se puede apreciar en la siguiente ilustración el alcance 1 corresponde a las emisiones controladas por la compañía, mientras que el 2 es relativo a las emisiones liberadas por la compañía generadora de electricidad requeridas para proporcionar la energía suministrada a la empresa, cabe mencionar que únicamente los alcances 1 y 2 se consideran obligatorios por lo que serán los que habrán de abordarse en el presente proyecto.

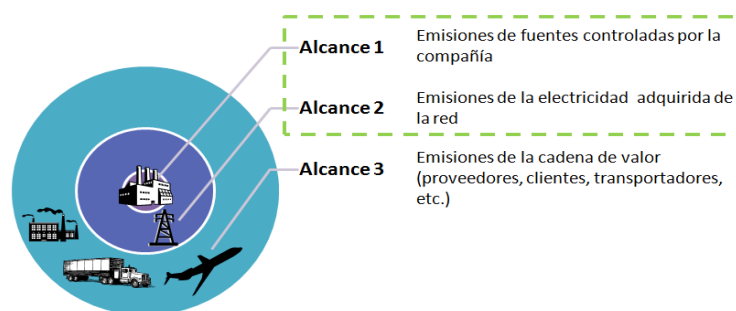


Gráfico 5. Alcances según el GHG Protocol.

Con lo anterior como referencia se estableció que la metodología propuesta debería comprender la totalidad de las fuentes comunes de generación de gases de efecto invernadero en entornos logísticos, así como los factores de emisión de cada uno de éstos para la consecución de la huella a calcular, esto de acuerdo con el PAS 2050 y el GHG Protocol. Resultaría imposible cubrir todos los casos específicos de actividades logísticas de la totalidad de las empresas por lo que se procurará dar una metodología que cubra los aspectos más importantes y recurrentes en los que incurran éstas. De acuerdo con los enfoques antes mencionados la metodología desarrollada contemplará las siguientes clasificaciones:

1. Transporte.
 - a. Transporte por carretera
 - b. Transporte acuático
 - c. Transporte aéreo
 - d. Transporte ferroviario
2. Almacenaje.
 - a. Almacenaje en seco
 - b. Almacenaje en frío
 - c. Gestión física del inventario
 - d. Gestión electrónica del inventario

Dichas clasificaciones así como las actividades propias de cada una de ellas habrán de conformar la metodología desarrollada, misma que se presenta a continuación de forma gráfica:

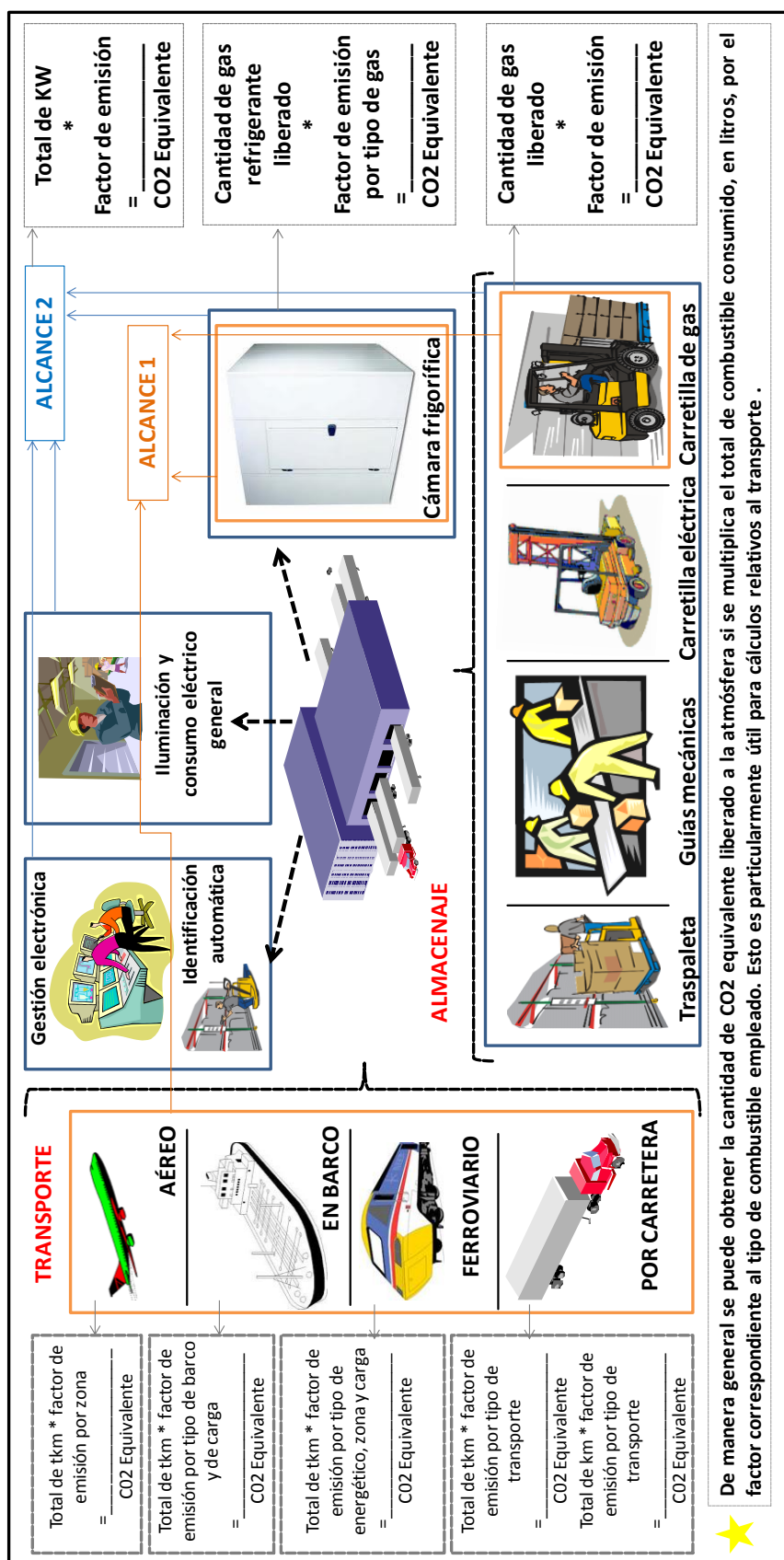


Gráfico 6. La metodología desarrollada.

Esta metodología no estaría completa si no se proporcionara para cada uno de los procesos logísticos seleccionados el factor por el que se habrán de multiplicar cada uno de ellos para obtener la huella de carbono de cada uno de ellos y por lo tanto el total de la gestión logística por lo que dichos valores se detallan en el Anexo 3. Factores de cálculo, cabe mencionar que algunos de estos valores son empíricos obtenidos de diversas fuentes mismas que se detallan en el ya mencionado anexo mientras que otros, los más recomendados por su mayor precisión, se obtuvieron por cálculos químicos estequiométricos.

Ya con los valores proporcionados basta con multiplicar el total de carga transportada, manipulada, o almacenada con la unidad especificada, por el factor brindado para obtener la huella de carbono por proceso para posteriormente sumar el valor de cada uno de ellos para encontrar el total de la huella de la gestión logística analizada.

1.6.2.- La herramienta informática desarrollada.

Para facilitar los cálculos de la huella de carbono en entornos logísticos se ha desarrollado una herramienta informática en el lenguaje de programación JAVA, a la cual se le ha denominado Carbon Footprint for Logistics.

El “software” tiene como objetivo principal el brindar valores de GEI liberados a la atmósfera de una alta precisión y el cual resultara de fácil uso para cualquier usuario que esté familiarizado con los entornos logísticos. En la versión 1.0 que es la actual, la herramienta desarrollada únicamente realiza cálculos para operaciones de transporte y para operaciones donde se conozca la cantidad y tipo de combustible empleados; la siguiente versión, en la que ya se está trabajando, habrá de incluir cálculos para los procesos propios del almacenaje así como en nuevas opciones propias del “software”.

A continuación se ilustra la pantalla principal de Carbon Footprint for Logistics donde se muestran las diversas opciones de cálculo:

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. Transporte aéreo | 2. Transporte por carretera. |
| 3. Transporte en barco | 4. Combustible empleado |
| 4. Transporte ferroviario | |

Estas alternativas de cálculo, como se puede apreciar en el gráfico 6, corresponden a algunas de las principales fuentes de emisiones del Alcance 1.

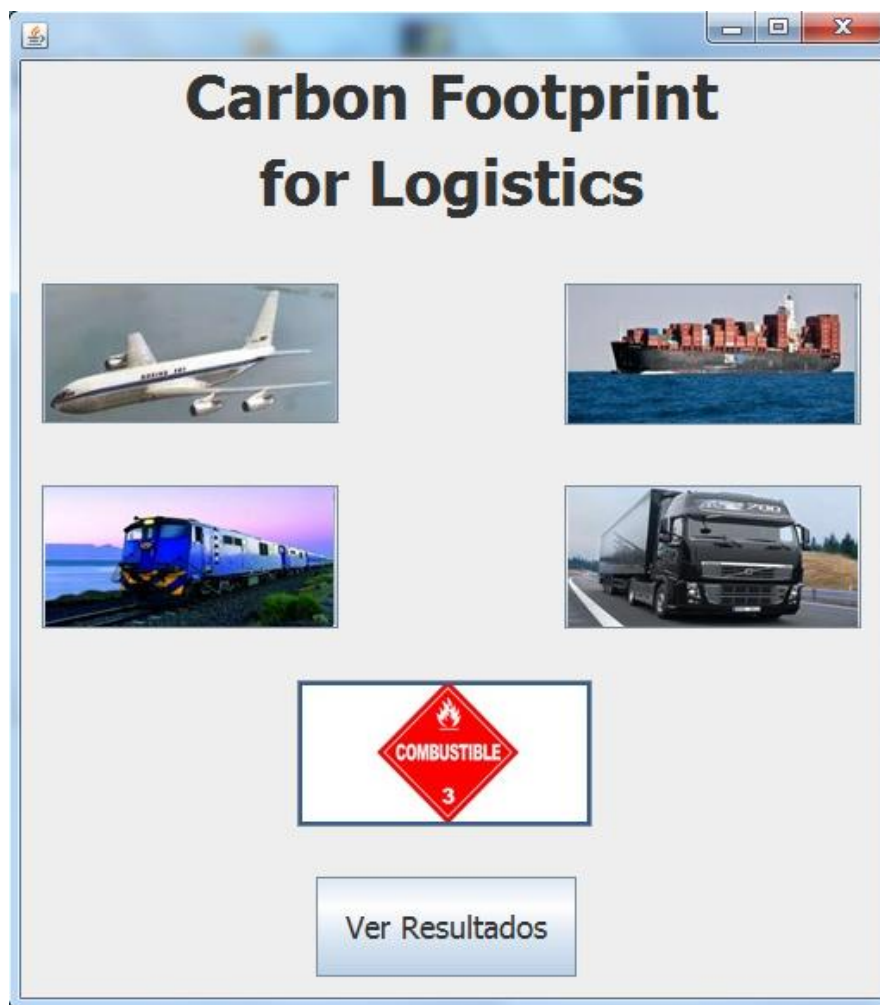


Gráfico 7. Pantalla principal. Carbon Footprint for Logistics.

Cada una de las alternativas de cálculo mostradas dan paso a una nueva pantalla donde se habrán de colocar los datos con los que se cuenta, en las unidades requeridas, para obtener la huella de carbono buscada. El botón “Ver resultados” no únicamente presenta los valores calculados sino que los integra para obtener el total de GEI liberados a la atmosfera en kilogramos de carbono equivalente. La totalidad de las pantallas del programa se presenta en el Anexo 4. Carbon Fotprint for Logistics.

La importancia de esta herramienta informática radica en que previo al desarrollo de ésta no existía un “software” para el cálculo de la huella de carbono para entornos logísticos y las que podrían ser utilizadas para ello mismas que se presentaron en el apartado breve estado del arte resultan costosas y poco prácticas para dichos entornos.

1.6.3.- Caso teórico para la validación del “software”.

Para comprobar que los resultados calculados mediante “Carbon Footprint for Logistics” fueran correctos se cotejaron mediante el desarrolló un caso teórico el cual fue analizado por las diversas herramientas informáticas con las que se cuenta en el mercado para contrastar tanto los resultados en sí como los diversos pros y contras, tanto de la herramienta desarrollada como de las que están en venta. Se decidió que los programas con los que se habría de tratar la información serían los siguientes, ya que como se puede apreciar en el Anexo 1. Marco teórico, son los más propicios para estos tipos de cálculos:

1. Carbon Footprint for Logistics.
2. Air.e
3. Ecoit
4. Simapro
5. Umberto

Cabe mencionar que esta validación se hizo en conjunto con otros miembros del equipo de investigación de la Unizar, así mismo es pertinente hacer mención de que como se verá en el Gráfico 9 los valores alcanzados con cada una de las herramientas informáticas son sumamente consistentes lo que hace pensar que el “software” desarrollado es confiable, más aún porque la huella obtenida mediante este programa correspondió con bastante aproximación a la media de los valores brindados por las otras aplicaciones.

El modelo teórico propuesto contempla el envío de productos a las siguientes ciudades:

- | | |
|--------------|----------------|
| 1. Valencia | 2. Barcelona |
| 3. Zaragoza | 4. Getafe |
| 5. Levante | 6. Sevilla |
| 7. Granada | 8. Córdoba |
| 9. Málaga | 10. Valladolid |
| 11. Palencia | 12. Burgos |

Lo anterior en semirremolques de 3 ejes desde Madrid, cargados de forma exclusiva con los productos solicitados, hasta el destino en las ciudades antes mencionadas. Para el cálculo de la huella de carbono se proporciona el total de carga supuesta para el año 2011, mismo que se brinda en el Anexo 5. Caso teórico. Cabe mencionar que el cálculo solicitado únicamente contempla las emisiones de GEI generados por el transporte de la carga, esto debido a que el caso real a estudiar presentaría características similares.

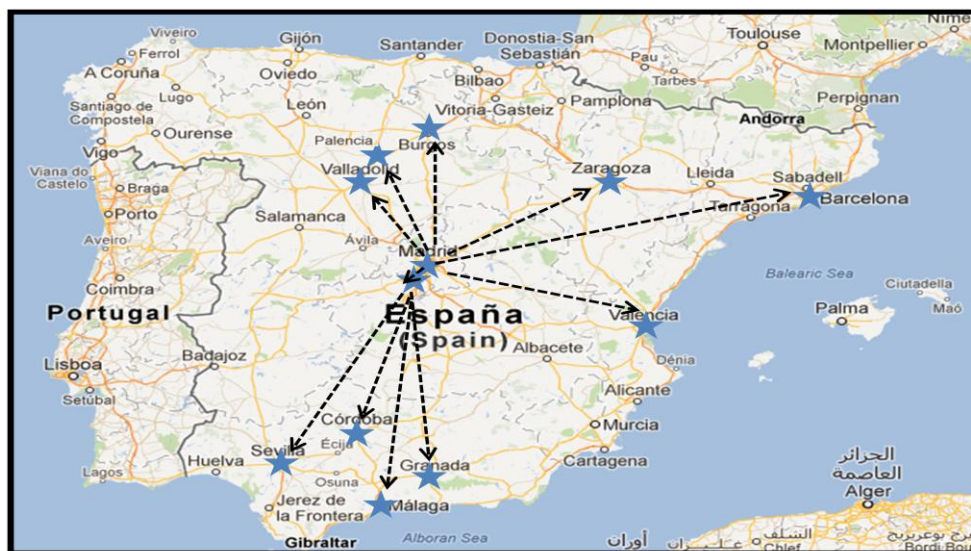


Gráfico 8. Modelo teórico.

A partir de estos datos y siguiendo la metodología propuesta se obtuvieron las siguientes emisiones de CO₂ liberados a la atmósfera con los programas antes mencionados:

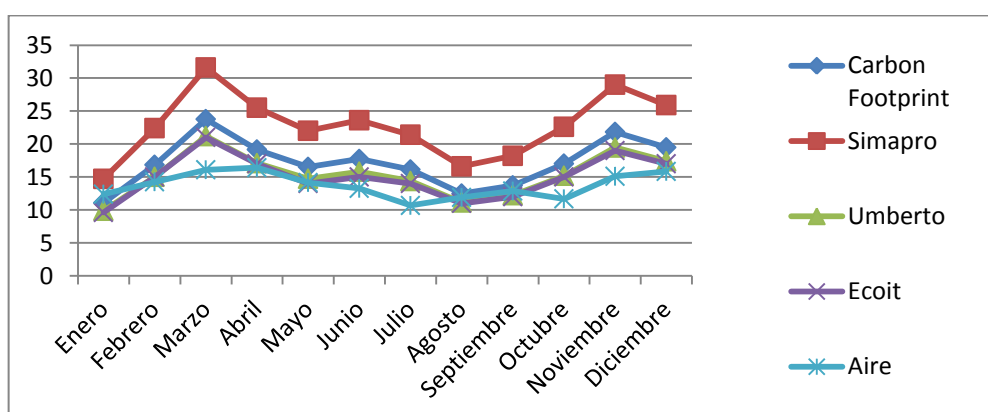


Gráfico 9. Resultados del caso teórico.

Los totales detallados por mes son los siguientes:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Carbon Footprint	11,06	16,83	23,76	19,15	16,51	17,71
Simapro	14,7	22,4	31,6	25,5	22	23,6
Umberto	9,87	15,02	21,19	17,09	14,73	15,8
Ecoit	9,6	15	21	17	14	15
Air.e	12,39	14,26	16,09	16,4	14,15	13,26

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Carbon Footprint	16,12	12,47	13,71	17,01	21,82	19,48
Simapro	21,4	16,6	18,2	22,6	29	25,9
Umberto	14,38	11,12	12,23	15,18	19,46	17,38
Ecoit	14	11	12	15	19	17
Air.e	10,67	11,89	12,86	11,68	15,09	15,83

Tablas 3 y 4. Emisiones de CO2 mensuales calculadas para el caso teórico.

Paralelo a la evaluación cuantitativa de la herramienta desarrollada, la cual para el total de la huella de carbono calculada para el modelo teórico supuso una diferencia del 3% con respecto a la media de los valores calculados con los “software” existentes en el mercado (205,63 ton CO2 por parte del “software” de la Unizar contra 200,28 ton CO2 correspondiente a la media de las soluciones disponibles), se realizó una evaluación subjetiva la cual procura dar respuesta a cuál de las herramientas informáticas resulta mejor en su manejo desde el punto de vista del usuario, las conclusiones de dicha evaluación se presentan en la siguiente tabla, en la que se detalla la ponderación por categoría a evaluar.

	Rapidez (10%)	Visual (5%)	Aprendizaje (20%)	Aplicable al sector (30%)	Claridad del lenguaje (10%)	Multilinguaje (10%)	Base de datos (15%)	Comparación (100%)
Copert	2	2	2	1	1	1	1	1,35
Simapro	3	4	3	5	3	1	3	3,45
Umberto	2	3	2	5	2	1	4	3,15
Ecoit	4	5	4	5	4	5	2	4,15
Aire	4	4	4	5	4	5	3	4,25
Unizar	5	4	5	5	5	1	3	4,25
GHG	4	3	4	5	4	1	1	3,5

Tabla 5. Evaluación subjetiva de las herramientas existentes.

Debido tanto a los resultados cuantitativos, como a la evaluación subjetiva se decidió que el cálculo correspondiente a la huella de carbono en la operativa seleccionada por la empresa Carreras se realizara con los tres programas sombreados. Cabe mencionar que el programa realizado en el presente proyecto fue uno de los tres mejores puntuados por el usuario.

1.7.- Caso real: Carreras, Grupo logístico.

La empresa Carreras, Grupo Logístico, cuya descripción se da en el anexo 6, se ha caracterizado en los últimos años por la importancia que brinda al respeto al medio ambiente por lo que ha puesto en marcha diversas iniciativas para reducir su impacto ambiental. Es en este contexto que dicha organización se puso en contacto con el equipo de investigación de la Universidad de Zaragoza para, de manera conjunta, cuantificar la huella de carbono de su operativa anual.

Uno de los primeros pasos de esta ambiciosa iniciativa, mismo que se considera como un resultado de este proyecto, fue el de aplicar tanto la metodología como la herramienta informática desarrollados, así como las soluciones existentes mejor consideradas en el mercado, en una prueba piloto que consistió en cuantificar la huella de carbono generada durante un año en el servicio a:

1. Un cliente (que se mantiene en anonimato) cuyos productos son servidos desde el centro de distribución que tiene la empresa en Bergondo, A Coruña (CP 15165) hasta los centros distribución con los que cuenta el cliente en diversas ciudades o bien al cliente final, lo que se realiza en flujo directo. La información detallada se brinda en el Anexo 7. Datos proporcionados por la empresa.
2. Un cliente que envía productos con origen Bergondo, A Coruña (CP15165) a diversos destinos a lo largo del País cuyos productos se entregan en ruta en los puntos solicitados por dichos clientes. La información detallada se brinda en el Anexo 7. Datos proporcionados por la empresa.

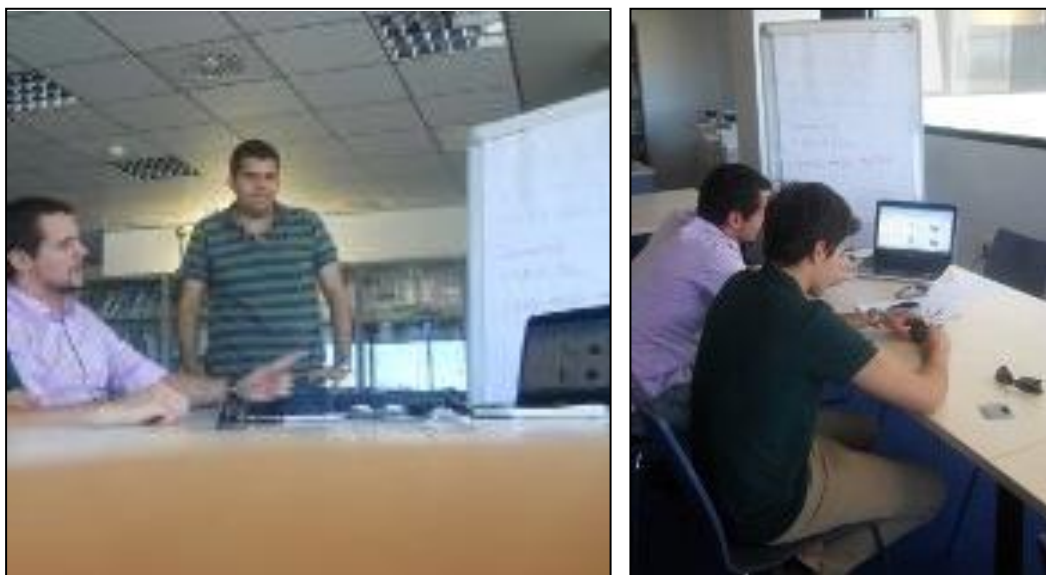


Gráfico 10. Imágenes de la reunión sostenida con personal de la empresa, junio 2012.

Los resultados de realizar los cálculos correspondientes y los cuales fueron presentados al personal de la empresa se resumen a continuación, todos los valores se encuentran en TnCO₂e:

a) Entregas sin ruta.

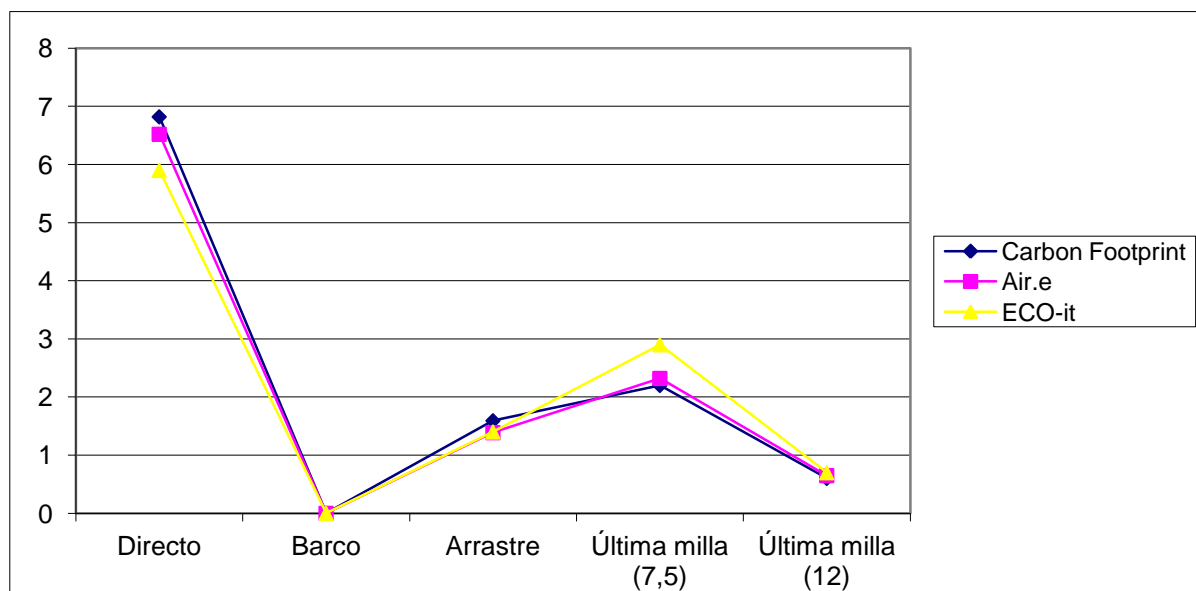


Gráfico 11. Caso real. Emisiones por clase en entregas sin ruta.

Programas / Emisiones	Directo	Barco	Arrastre	Última milla (7,5)	Última milla (12)	Entregas sin ruta
Carbon Footprint	6,821	0,0013	1,593	2,201	0,602	11,2183
Air.e	6,521	0,001	1,389	2,322	0,65	10,883
ECO-it	5,9	0,0014	1,4	2,9	0,7	10,9014

Tabla 6. Caso real. Emisiones por clase en entregas sin ruta.

b) Entregas con ruta.

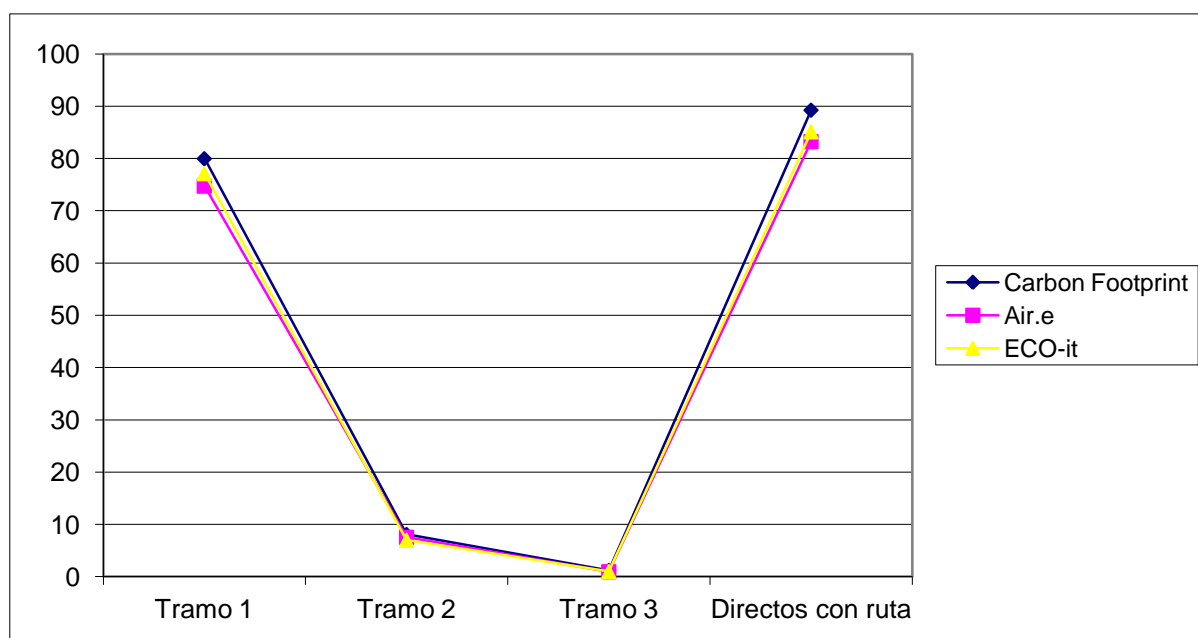


Gráfico 12. Caso real. Emisiones por clase en entregas sin ruta.

Programas/Emisiones	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Directos con ruta
Carbon Footprint	79,983	8,09	1,194	89,267
Air.e	74,74	7,548	0,966	83,254
ECO-it	77,12	7	1	85,12

Tabla 7. Caso real. Emisiones por clase en entregas sin ruta.

Los totales solicitados por la empresa se muestran en la columna derecha de cada apartado.

Cabe mencionar que, como se puede apreciar en las tablas y gráficos mostrados, no únicamente se utilizó el “software” desarrollado para cuantificar la huella de carbono, sino que también se emplearon, con resultados muy similares, las dos herramientas mejor valuadas de las existentes en el mercado, esto para brindar mayor confianza a la empresa y como otro mecanismo para validar la aplicación desarrollada.

1.8.- Propuesta de reducción de GEI para la empresa.

Una vez se ha calculado la huella de carbono de la operativa solicitada por la empresa Carreras, Grupo logístico se prosiguió a brindar una propuesta reducción de emisiones GEI.

Entre las dos fuentes de emisiones estudiadas, es decir las entregas directas y las entregas en ruta, se seleccionó para la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera la segunda de ellas dado que la primera, por las características del tipo de envío, no es propicia para mejorarla desde una perspectiva logística. Las entregas en ruta, a diferencia de las directas, sí son optimizables por lo que fueron éstas las elegidas para buscar reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Es en este contexto que es pertinente hacer mención de que la empresa realiza sus entregas en ruta siguiendo el siguiente proceso: En caso de tener que realizarse tres entregas el transportista primero se dirige a la ubicación más cercana al origen de la mercancía, posteriormente a la del cliente más próximo y por último realiza la entrega al faltante. En caso de únicamente realizarse dos entregas el primer destino será donde la descarga sea la menor. Como se muestra en el anexo 8 este proceso no resulta ser el mejor dado que no es el que minimiza el total de Ttkm y con por lo tanto las emisiones de GEI a la atmósfera.

1.8.1.- Propuesta para la reducción de la huella de carbono.

Con las rutas propuestas, mismas que se muestran en la tabla 8 y las que se obtuvieron calculando la huella de carbono para la totalidad de rutas posibles y tomando las que emitían el mínimo de CO₂, como se puede ver en el Anexo 8. Optimización donde además se dan las nuevas distancias a recorrer, se logran las siguientes reducciones de GEI:

Ruta actual:	89270	KgCO ₂ e
Ruta propuesta:	72139	KgCO ₂ e
Diferencia:	17131	KgCO ₂ e
Diferencia (%)	19%	

Tabla 8. Caso óptimo, valores calculados con Carbon Footprint for Logistics.

Las siguientes tablas muestran las mejores rutas posibles para el caso dado:

RUTA #	RUTAS PROPUESTAS			TIPO DE RUTA	RUTA #	RUTAS PROPUESTAS			TIPO DE RUTA
10	MALAGA	MALAGA	JAEN	PROPUESTA	16	MALAGA	GRANADA	-	PROPUESTA
107	MURCIA	ALICANTE	VALENCIA	PROPUESTA	19	ALAVA	CANTABRIA	-	PROPUESTA
108	BURGOS	BURGOS	LEON	ORIGINAL	2	GUADALAJARA	MADRID	-	PROPUESTA
25	MADRID	MADRID	GUADALAJARA	PROPUESTA	21	BARCELONA	LERIDA	-	PROPUESTA
28	BARCELONA	BARCELONA	LERIDA	PROPUESTA	22	GUIPOZCOA	NAVARRA	-	PROPUESTA
32	VALENCIA	VALENCIA	ALICANTE	ORIGINAL	23	ALICANTE	VALENCIA	-	PROPUESTA
37	MADRID	MADRID	GUADALAJARA	ORIGINAL	26	MURCIA	VALENCIA	-	PROPUESTA
38	VALENCIA	VALENCIA	MURCIA	ORIGINAL	27	MALAGA	GRANADA	-	PROPUESTA
44	CANTABRIA	CANTABRIA	BURGOS	PROPUESTA	30	JAEN	TOLEDO	-	PROPUESTA
48	MALAGA	MALAGA	JAEN	PROPUESTA	31	GUADALAJARA	TOLEDO	-	PROPUESTA
49	CANTABRIA	CANTABRIA	BURGOS	PROPUESTA	34	MALAGA	JAEN	-	PROPUESTA
52	BARCELONA	BARCELONA	LERIDA	PROPUESTA	36	MURCIA	VALENCIA	-	PROPUESTA
54	MURCIA	ALICANTE	VALENCIA	PROPUESTA	39	MALAGA	JAEN	-	PROPUESTA
56	BURGOS	VIZCAYA	CANTABRIA	PROPUESTA	40	ALAVA	CANTABRIA	-	PROPUESTA
61	BURGOS	ALAVA	CANTABRIA	PROPUESTA	45	MURCIA	VALENCIA	-	PROPUESTA
63	MADRID	GUADALAJARA	MADRID	ORIGINAL	50	GUADALAJARA	MADRID	-	PROPUESTA
67	MADRID	MADRID	GUADALAJARA	ORIGINAL	53	MALAGA	GRANADA	-	PROPUESTA
68	ALAVA	CANTABRIA	-	ORIGINAL	57	GUADALAJARA	MADRID	-	PROPUESTA
101	ALAVA	CANTABRIA	-	PROPUESTA	58	CADIZ	SEVILLA	-	PROPUESTA
102	MALAGA	JAEN	-	PROPUESTA	6	JAEN	CIUDAD REAL	-	PROPUESTA
104	MALAGA	JAEN	-	PROPUESTA	60	CANTABRIA	ASTURIAS	-	PROPUESTA
12	GUADALAJARA	MADRID	-	PROPUESTA					

Tabla 9. Las rutas óptimas.

Dado que por lo dinámico y lo complejo de la operativa completa de la empresa, es difícil que se pueda realizar el tipo de optimización que se presentó previamente, se le propuso a Carreras, Grupo logístico, además de esta solución, una más sencilla de aplicar, que consiste en sustituir su proceso de entregas actual por el siguiente: En caso de que se deban realizar tres entregas, acudir a descargar primero al cliente que haya solicitado la mayor cantidad de carga, posteriormente al más próximo y por último al faltante. En caso de ser únicamente dos entregas acudir primero al que solicitara la mayor cantidad de carga. Con esto no se alcanzan los niveles de mejora que con las rutas óptimas pero aún así, con la información disponible, se reducen de manera importante las emisiones de CO₂, en un 17%:

Ruta actual:	89270	0%
Ruta propuesta:	74023	KgCO ₂ e
Diferencia:	15247	KgCO ₂ e
Diferencia (%)	17%	

Tabla 10. Emisiones propuestas, valores calculados con Carbon Footprint for Logistics.

Actualmente el personal de la empresa a quien se le compartió esta información estudia de manera detallada la misma para determinar si este cambio es viable para de ser así proponer la modificación de las rutas pertinentes a los puestos responsables.

1.8.2.- Propuestas de mejora económica.

Dado que las dos mejoras propuestas se basan en la reducción de toneladas kilómetro, las cuales son una de las principales medidas a disminuir en la gestión del transporte para la consecuente reducción en costes, se conseguiría con estas propuestas, de ponerse en marcha por la empresa, los siguientes ahorros:

Actual (Tkm)	Caso óptimo (Tkm)	Diferencia (Tkm)	Diferencia (€)
743921,1499	601154,4856	142766.6643	8.566,00 €

Actual (Tkm)	Caso óptimo (Tkm)	Diferencia (Tkm)	Diferencia (€)
743921,1499	616856,74	127064.40	7.623,86 €

Tablas 11 y 12. Ahorros propuestos.

Cabe mencionar que el coste por Tkm a distribuir (0,06€) se obtuvo con datos de Acotram 2.2.1 y son tan solo una estimación, el ahorro exacto dependerá de cada ruta en particular y de la operativa de Carreras, Grupo logístico.

Dado que los ahorros para esta pequeña parte de la gestión del transporte oscila en los 8.000 €, esto da una idea de los altos índices de ahorro que podrían alcanzarse, tanto en huella de carbono como en euros, de redefinirse la totalidad de las rutas operadas por el Grupo.

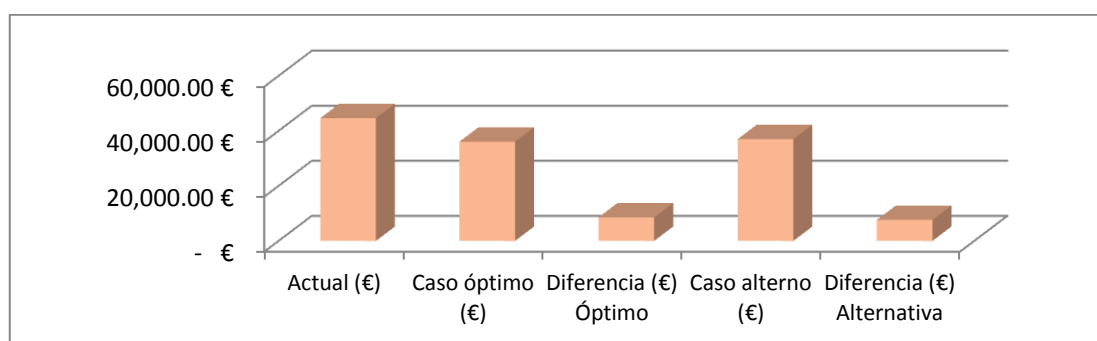


Gráfico 13. Análisis económico de las alternativas propuestas.

1.9.- Conclusiones y líneas de investigación futuras.

Este proyecto procuró apoyar a los esfuerzos que día a día se realizan para contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Así mismo, el presente documento fue creado en el contexto de una serie de normativas y metodologías que brindan las pautas para disminuir, desde un punto de vista empresarial, la cantidad de CO₂ que liberamos a la atmósfera. De manera puntual se puede decir que este proyecto enriquece la literatura existente en el campo, dado que por primera vez se propuso una metodología para cuantificar las emisiones existentes en la gestión logística, la cual como se ha podido apreciar a lo largo del mismo, es una de las principales fuentes de contaminación a nivel global.

Más allá de brindar una metodología que incluye las principales áreas que abarca la logística, se dieron los principales factores requeridos para cuantificar la huella de carbono resultante de la misma; lo que facilita no solo la determinación del CO₂ liberado a la atmósfera sino también los proyectos de reducciones de emisiones. Cabe destacar que para facilitar a los operadores logísticos el cálculo de su huella de carbono también se desarrolló un “software” “Carbon Footprint for Logistics”, el primero pensado exclusivamente para la gestión del transporte, mismo que se validó con las principales herramientas informáticas existentes, concluyéndose que es una aplicación confiable y precisa. Se aprovechó para evaluar, desde el punto de vista del usuario las mejores aplicaciones existentes.

Una vez que se contaba tanto con la metodología y con la herramienta computacional para el cálculo de la huella de carbono se trabajó con una empresa, Carreras, Grupo logístico quién brindó datos para la cuantificación de sus emisiones de CO₂ en parte de su operativa, con la información dada no solo se dio a la empresa el total de sus emisiones aplicando tres herramientas informáticas de cálculo sino que también se concluyó, mediante el análisis de sus rutas, que estas no eran las óptimas por lo que se les propuso nuevas las cuales no solo reducen la huella de carbono sino que pueden traer importantes ahorros para la empresa.

Entre las principales líneas de investigación para proseguir con este trabajo se propone no solo incrementar el número de factores sino mejorar con los que ya se cuenta, así mismo se deberá mejorar el “software” existente, en lo que ya se está trabajando, con nuevos apartados y propiedades. Por supuesto se requiere de aplicar el trabajo realizado en nuevos casos reales.

1.10.- Fuentes consultadas.

Las fuentes consultadas, por su extensión, se proporcionan en el anexo 9.